

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2002年5月23日 (23.05.2002)

PCT

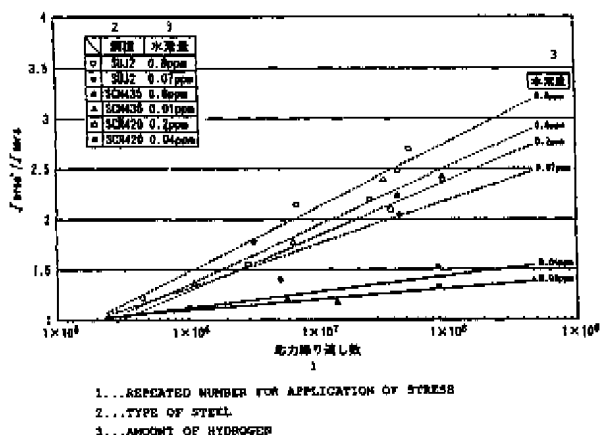
(10) 国際公開番号  
WO 02/40730 A1

- (51) 国際特許分類: C22C 38/00 (71) 出願人 および  
(72) 発明者: 村上敬重 (MURAKAMI, Yukitaka) [JP/JP];  
〒811-0212 福岡県福岡市東区美和台6丁目20番7号  
Fukuoka (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP01/09946 (72) 発明者; および  
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 村上保夫 (MU-  
RAKAMI, Yasuo) [JP/JP]; 〒251-8501 神奈川県藤沢市  
鶴沼神明一丁目5番50号 日本精工株式会社内 Kana-  
gawa (JP).
- (22) 国際出願日: 2001年11月14日 (14.11.2001)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願2000-347676  
2000年11月15日 (15.11.2000) JP
- (74) 代理人: 森 哲也, 外 (MORI, Tetsuya et al.); 〒101-  
0032 東京都千代田区岩本町二丁目3番3号 友泉岩本  
町ビル8階 日栄国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (国内): JP, US.
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本精  
工株式会社 (NSK LTD.) [JP/JP]; 〒141-8560 東京都品  
川区大崎1丁目6番3号 Tokyo (JP).
- 添付公開書類:  
— 国際調査報告書

[続葉有]

(54) Title: PART FOR MACHINE

(54) 発明の名称: 機械部品



(57) Abstract: A part for a machine, characterized in that it comprises a steel having a content of carbon of 0.2 % or more and it has a content of hydrogen of 0.04 ppm or less after hardening by heat treatment. The part preferably has a hardness after hardening by heat treatment of Hv 450 or more. The part for a machine is excellent in ultra-long-term fatigue characteristics, and thus can be suitably used as a bearing ring of a rolling bearing and a rolling element.

(57) 要約:

機械部品を炭素の含有量が0.2%以上である鋼で構成するとともに、熱処理硬化後の水素の含有量を0.04ppm以下とした。また、熱処理硬化後の硬さをHv450以上とした。

このような機械部品は超長寿命疲労特性に優れているので、転がり軸受の軌道輪や転動体として好適に使用可能である。

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

## 機械部品

## 5 技術分野

本発明は、超長寿命疲労特性に優れた機械部品に係り、特に、新幹線等の車両の車軸、歯車、タービン等の翼、自動車、産業機械等の減速装置、軸受など、高い繰返し応力（曲げ、引張り、圧縮等の応力）を受ける部分に好適に使用される機械部品に関する。

10

## 背景技術

従来、高強度鋼等の金属材料については、繰返し応力（曲げ応力、引張り応力、圧縮応力等）による疲労破壊は、繰返し数 $N$ が $10^7$ 回を超えても破壊が生じない場合は、その後に疲労破壊が生じることはないものと考えられていた。よって、繰返し数 $N=10^7$ 回において、  
15 疲労限度（疲労強度）が決定されてきた。

しかしながら、近年、 $10^7$ 回では疲労破壊が生じず、繰返し数 $N$ が $10^7$ 回を超えて疲労破壊を起こすという現象（以降は、このような現象を超長寿命疲労破壊と記し、また、繰返し数 $N=10^7$ 回超過における疲労特性を超長寿命疲労特性と記す）が、内藤ら（材料、32、361（1983））や江村ら（機論 A55, 509（1989））により発表され、注目され始めている。  
20

新幹線等の車両の車軸やタービン等の翼などのような機械部品は、 $10^7$ 回を超える繰返し応力を受けて使用される場合があるので、超長  
25 寿命疲労破壊を起こす原因を究明することは重要なことである。

一方、高強度鋼の静的強度に水素が悪影響を与えることは、遅れ破壊

などの現象としてよく知られている。しかし、高強度鋼の疲労特性を低下させる因子として水素の影響を指摘したのは、ごく近年の村上らが初めてである（日本材料学会第24回疲労シンポジウム講演論文集（1998）及び材料，48，10（1999））。

- 5 水素による遅れ破壊特性の低下を防止する方法としては、鋼に侵入した水素をトラップして水素の集中源となる硫化物系の化合物，介在物の個数を制限する方法（日本国特許公開公報 平成10年第1746号）や、鋼中に微細な炭化物，窒化物，硫化物等を分散析出させ、侵入した水素を分散してトラップさせることにより、水素脆化を生じにくくする
- 10 方法（日本国特許公開公報 平成10年第110247号）等が開示されている。これらの例は、主として使用中に鋼材表面から比較的多量の水素（拡散性水素）が侵入するおそれのあるような用途に使用される鋼材に対する方法である。

- また、鋼中に侵入する水素量を、室温から300℃に加熱した際に放出される水素量が0.5ppm以下となるように制限することにより、
- 15 遅れ破壊特性の向上を図った高強度微細鋼線が日本国特許公開公報 平成11年第256274号に開示されている。

- しかしながら、前述の日本国特許公開公報 平成10年第1746号，平成10年第110247号，及び平成11年第256274号に開示
- 20 の方法は、いずれも、超長寿命疲労特性の向上を目的としたものではなく、通常の疲労特性（遅れ破壊的）の向上を目的としたものである。さらに、それらは水素が疲労特性に及ぼす機構を明確にしたデータに基づいたものではない。したがって、前述の方法を用いても、超長寿命疲労特性を十分に向上させることは困難である。

- 25 そこで本発明は、上記のような従来技術の有する問題点を解決し、超長寿命疲労特性に優れた機械部品を提供することを課題とする。

## 発明の開示

上記課題を解決するため、本発明は次のような構成からなる。すなわち、本発明の機械部品は、炭素の含有量が0.2%以上である鋼で構成され、熱処理硬化後の水素の含有量が0.04ppm以下であることを特徴とする。

また、該機械部品は、表面硬化処理を施す等の方法により、その表面硬さをHv450以上とすることが好ましい。

このような構成とすれば、前記機械部品は、水素の影響による不確定な疲労強度の低下が起こるおそれが小さく、超長寿命疲労特性が大変優れているので、信頼性が非常に高い。

よって、本発明の機械部品は、転がり軸受の軌道輪又は転動体のように、回転や振動によって $10^7$ 回を超える繰返し応力を受けて使用される多くの機械部品に、好適に適用することができる。

本発明者らは、高強度鋼の超長寿命疲労破壊に及ぼす介在物と水素の影響について研究を重ねた結果、以下の知見を得て、本発明を完成するに至った。

超長寿命疲労破壊を起こした鋼製の試験片の破壊起点には非金属介在物が存在するが、この介在物の周辺には、表面状態が粗いため金属顕微鏡により黒く見える領域（以降はODA:Optically Dark Areaと記す）が存在し、その形成には水素が重要な役割を果たしていることを、本発明者らは報告した（機論 A66, 642(2000)）。

第1図に、超長寿命疲労破壊を起こした試験片（SCM435製）の破壊起点の介在物，ODA，及びその近傍を観察した走査型電子顕微鏡（SEM）写真を示す。第1図に示すように、ODAの外側において

はマルテンサイトの組織に典型的な疲労破面が観察されたが、ODAにおいてはマルテンサイトの組織は明瞭には観察されず、通常の疲労破面より一見脆性的で粗い組織が観察された。

5 介在物の周囲のODAは（第1図を参照）、低応力での疲労試験において長寿命で破壊した試験片には観察され、高応力での疲労試験において短寿命で破壊した試験片には観察されない。このことから、ODAは、介在物の周辺にトラップされた水素と繰り返し応力とにより、遅れ破壊に類似の機構で亀裂が不連続に進展した結果生じたものと推測される。

そこで、ODAの大きさと水素含有量との関係を調査するため、以下  
10 のような試験を行った。すなわち、試験片の熱処理（焼入れ処理）を、水素を含む雰囲気中（例えば $R_x$ ガス中）又は真空中において行い、それぞれの試験片について疲労試験を行った。同程度の疲労寿命にて破壊した試験片の破壊起点を観察したところ、破壊起点となった介在物の周辺に存在するODAの寸法は、真空中で加熱後に焼入れ処理を行った試験片の方が、水素を含む雰囲気中で加熱後に焼入れ処理を行った試験片  
15 よりもかなり小さかった。このような結果から、ODAの寸法と水素含有量との間に相関性があることが分かった。

本発明者らは以前から、疲労強度に及ぼす非金属介在物（欠陥）の大きさの影響を評価するために、非金属介在物の大きさにより疲労限度を  
20 推定する推定式を提唱しており（金属疲労：微小欠陥と介在物、1993、養賢堂）、この推定式により部材の疲労強度を予測することが可能である。そして、前記推定式は非金属介在物の大きさ、すなわち非金属介在物の面積の平方根（以降は $\sqrt{area}$ と記す）をパラメーターとしている。

25 本発明者らは、非金属介在物の大きさ（ $\sqrt{area}$ ）と、非金属介在物とODAとを合わせたものの大きさ（非金属介在物の面積とODAの

面積との和の平方根であり、以降は $\sqrt{area'}$ と記す)とが、前記推定式による限界値を超えると、疲労破壊が生じることを見出した。

言い換えれば、水素含有量を低減させることによって非金属介在物と ODA とを合わせたものの寸法 ( $\sqrt{area'}$ ) を小さくすれば、より  
5 長寿命化が期待できることを見出したのである。なお、上記の非金属介在物と ODA とを合わせたものの寸法を示す尺度としては、 $(\sqrt{area'}) / (\sqrt{area})$  を用いることが好ましい。

また、本発明者らは、水素含有量が 0.04 ppm を超える場合は、疲労寿命が長いものほど ODA の寸法が大きい (すなわち、 $(\sqrt{area'}) / (\sqrt{area})$  の値が大きい) 傾向があることを見出した。す  
10 なわち、 $(\sqrt{area'}) / (\sqrt{area})$  の値が大きくなると、疲労破壊を起こすのである。このことから、繰返し数  $N = 5.0 \times 10^7$  回にて  $(\sqrt{area'}) / (\sqrt{area})$  の値が 1.5 以下であることが、長寿命化には望ましい。

さらに、上記の水素含有量の限定は、繰返し応力を受ける機械部品を構成する鋼の炭素含有量が 0.2% 以上で、硬さが Hv450 以上である場合において、特に有効である。  
15

つまり、繰返し応力を受ける機械部品を構成する鋼の炭素含有量を 0.2% 以上、硬さを Hv450 以上とし、さらに、水素含有量を 0.04 ppm 以下とすることで、ODA の寸法を小さくすることができる。  
20

したがって、欠陥 (非金属介在物) の大きさにより前記推定式から算出される疲労限度の推定値の限界値以下で疲労を受けることとなり、長寿命化が図れる。そして、それとともに、非金属介在物の大きさを機械部品の設計段階で小さく限定すれば、該機械部品の疲労限度を長寿命と  
25 推定することができ、超長寿命疲労特性に優れた信頼性の高い機械部品が期待できるのである。

そうすれば、歯車、軸受、タービン、車軸など、回転や振動によって  $10^7$  回を超える繰り返し応力を受けて使用される場合がある多くの機械部品に適合するものを設計段階で予測することが可能である。

5      なお、本発明における機械部品とは、原動機、作業機等の機器のような、外部から供給されたエネルギーを所定の有用な仕事に変換する機器を構成する部品を意味する。例えば、前述の新幹線等の車両の車軸、歯車、タービン、ポンプなどがあげられる。さらに、転がり軸受を構成する外輪、内輪、転動体、及び保持器や、直動案内軸受、ボールねじ等の転動装置を構成する転動部材にも適用可能である。

10

#### 図面の簡単な説明

第1図は、超長寿命疲労破壊を起こした試験片の破断面を観察したSEM写真を示す図である。

15      第2図は、疲労試験に用いる試験片の形状及び寸法を説明する図である。

第3図は、疲労試験における応力の繰り返し数と  $(\sqrt{area'}) / (\sqrt{area})$  の値との相関を示すグラフである。

第4図は、試験片の硬さHvと  $(\sqrt{area'}) / (\sqrt{area})$  の値との相関を示すグラフである。

20

#### 発明を実施するための最良の形態

本発明に係る機械部品の実施の形態を、図面を参照しながら説明する。なお、本実施形態は本発明の一例を示したものであって、本発明は本実施形態に限定されるものではない。

25      各種試験片を作製し、疲労試験を行った結果について説明する。

前記試験片の鋼材には、S U J 2（炭素含有量は0.97%）、S C



M 4 3 5（炭素含有量は0.35%）、及びS C R 4 2 0（炭素含有量は0.2%）を用い、第2図に示すような形状、寸法の試験片を作製した。

試験片の熱処理は、840℃で30分間の焼入れ処理を施した後、1  
5 80℃で120分間の焼戻し処理を施すという条件で行った。このとき、加熱を、水素を含む雰囲気中（約30%の水素を含むR<sub>x</sub>ガス中）又は真空中で行い、その後に焼入れ処理を行うことにより、水素含有量を変えた試験片を作製した。そして、疲労特性への水素含有量の影響を調べた。なお、これ以降は、水素を含む雰囲気中で加熱を行った場合の熱処理をQ T熱処理、真空中で加熱を行った場合の熱処理をV Q熱処理と記す。

ただし、試験片の水素含有量を低く抑えるためには、真空中で加熱を行う代わりに、水素を含まないガス（例えば窒素等の不活性ガス）中で加熱を行ってもよい。また、通常の焼入れ処理の後に若干高い温度で焼戻しを施すことによって、同様の効果が得られる。

熱処理を施した試験片は、エメリー紙を用いて研磨して、#2000まで表面仕上げをした。そして、鋼中の水素含有量を測定した後、疲労試験に供した。

なお、鋼（熱処理硬化後の機械部品）中の水素含有量の測定は、昇温水素分析法により行った。以下に、昇温水素分析法による水素含有量の測定方法を、詳細に説明する。

試験片をガラス管内に挿入し、外部から赤外線で加熱する赤外線イメージ炉を用いて、昇温速度15℃/minで昇温した。そして、室温から800℃までの温度範囲において試験片から放出される水素を質量分析計（日本真空技術株式会社のM a s s m a t e 2 0 0）に導いて、水素量の測定を行った。なお、温度の測定は、試験片に熱電対を接触させ

ることにより行った。

質量分析計においては、真空中で放出される水素ガスは質量分析管内でイオン化される。そのイオン化強度は、検定済みの標準リークのイオン化強度を基準として水素放出速度に換算される。水素濃度は、水素放出速度を積分することによって求める。水素チャージ材と未チャージ材の水素放出速度プロファイルを比較して水素放出の有無を決定し、さらに、その前後の最も低位に安定したところを結んでバックグラウンドとして求めた。

疲労試験は引張圧縮疲労試験であり、応力比は $R = -1$ （引張応力と圧縮応力とが等しいという意味である）、繰り返し速度は $3.5 \sim 4.2 \text{ Hz}$ である。なお、引張圧縮疲労試験においては、試験部に曲げ応力が作用すると若干低めの疲労強度が得られる傾向がある。よって、試験片のつかみ部付近の円周を4等分する位置にひずみゲージを取り付け、応力を負荷した際に試験部に曲げ応力が作用しないように注意深く調整しながら、試験片を疲労試験機に取り付けた。ただし、曲げ応力やせん断応力等が繰り返し負荷されても、定性的には同様の結果が得られる。

転がり軸受の軌道輪と転動体の転動接触における永久変形量の和（転動体直径の $0.0001$ 倍）から求められる最大接触面圧は $3.92 \text{ GPa}$ （ $400 \text{ kgf/mm}^2$ ）であるが、実際には $2.94 \text{ GPa}$ （ $300 \text{ kgf/mm}^2$ ）の応力が繰り返し負荷される状態で使用されている（例えば、日本国特許公開公報 平成8年第61372号を参照）。

このように高い繰り返し応力が負荷される機械部品に、超長寿命疲労特性の優れる本発明を適用することは、機械部品の疲労寿命向上及び信頼性向上に有効である。

疲労試験により破断した試験片の破断面を走査型電子顕微鏡（日本電子株式会社製JSM-T220A）により観察し、破壊起点である非金

属介在物の寸法 ( $\sqrt{\text{area}}$ )、及び非金属介在物とその周辺のODAとを合わせた部分の寸法 ( $\sqrt{\text{area}'}$ ) を調べた。そして、( $\sqrt{\text{area}'}$ ) / ( $\sqrt{\text{area}}$ ) の値を求めた。

すなわち、SEMの2次元走査像からコントラストの違い(第1図を参照)を利用して非金属介在物及びODAの投影面積を求め、( $\sqrt{\text{area}'}$ ) / ( $\sqrt{\text{area}}$ ) の値を算出した。

これらの結果を表1及び表2に示す。なお、各表には、表の左から順に、試験片の鋼種、水素の含有量、硬さHv、疲労試験において負荷した繰返し応力、疲労試験において破断するまでの繰返し数、SEM観察による非金属介在物の寸法 ( $\sqrt{\text{area}}$ )、及び ( $\sqrt{\text{area}'}$ ) / ( $\sqrt{\text{area}}$ ) の値(寸法比)を示した。また、実施例の試験片はすべてVQ熱処理を施したものであり、比較例の試験片は、比較例1~4がVQ熱処理、それ以外はすべてQT熱処理を施したものである。

表 1

	鋼種	水素量 ppm	硬さ Hv	応力 MPa	繰り返し数	介在物 の寸法 <sup>1)</sup>	寸法比 <sup>2)</sup>
実施例 1	SCM435	0.01	561	702	$5.83 \times 10^5$	35.4	1.21
実施例 2	SCM435	0.01	561	600	$1.43 \times 10^7$	55.6	1.18
実施例 3	SCM435	0.01	561	540	$4.80 \times 10^8$	22.3	1.39
実施例 4	SCM435	0.01	561	640	$5.30 \times 10^7$	22.3	1.39
実施例 5	SCR420	0.04	450	710	$1.02 \times 10^5$	29.6	1.12
実施例 6	SCR420	0.04	450	600	$8.84 \times 10^7$	24.0	1.52
実施例 7	SCR420	0.04	450	540	$9.01 \times 10^7$	18.7	1.33
比較例 1	SUJ2	0.07	700	855	$2.38 \times 10^5$	82.0	1.02
比較例 2	SUJ2	0.07	700	857	$3.25 \times 10^6$	24.3	1.78
比較例 3	SUJ2	0.07	700	819	$5.23 \times 10^8$	44.3	1.40
比較例 4	SUJ2	0.07	700	799	$4.55 \times 10^7$	23.9	2.05

1)  $\sqrt{\text{area}}$  (単位は $\mu\text{m}$ )2)  $(\sqrt{\text{area}'}) / (\sqrt{\text{area}})$

表 2

	鋼種	水素量 ppm	硬さ Hv	応力 MPa	繰返し数	介在物 の寸法 <sup>1)</sup>	寸法比 <sup>2)</sup>
比較例 5	SUJ 2	0. 8	700	884	$4.50 \times 10^5$	72. 3	1. 22
比較例 6	SUJ 2	0. 8	700	853	$6.98 \times 10^6$	23. 7	2. 15
比較例 7	SUJ 2	0. 8	700	831	$2.65 \times 10^7$	21. 3	2. 20
比較例 8	SUJ 2	0. 8	700	763	$4.41 \times 10^7$	32. 3	2. 48
比較例 9	SUJ 2	0. 8	700	840	$5.40 \times 10^7$	18. 0	2. 70
比較例 10	SCM435	0. 8	561	821	$1.11 \times 10^8$	22. 2	1. 37
比較例 11	SCM435	0. 8	561	781	$6.54 \times 10^8$	18. 7	1. 78
比較例 12	SCM435	0. 8	561	641	$3.44 \times 10^7$	20. 4	2. 40
比較例 13	SCM435	0. 8	561	601	$4.39 \times 10^7$	21. 0	2. 25
比較例 14	SCM435	0. 8	561	510	$9.70 \times 10^7$	19. 0	2. 43
比較例 15	SCR420	0. 2	450	800	$2.93 \times 10^8$	20. 8	1. 55
比較例 16	SCR420	0. 2	450	740	$3.90 \times 10^7$	19. 4	2. 10
比較例 17	SCR420	0. 2	450	550	$9.80 \times 10^7$	19. 8	2. 40

1)  $\sqrt{\text{area}}$  (単位は $\mu\text{m}$ )2)  $(\sqrt{\text{area}'}) / (\sqrt{\text{area}})$

そして、これらの結果のうち、 $(\sqrt{area'}) / (\sqrt{area})$  の値を縦軸に取り、繰返し数を横軸にとってグラフ化したものを第3図に示す。

- 5      その結果、水素の含有量が0.04ppm以下である実施例においては、繰返し数Nが $10^7$ 回を超えてもODAの寸法は小さく（すなわち、 $(\sqrt{area'}) / (\sqrt{area})$ の値が2.05以下と小さい）、介在物を中心とした水素起因による疲労亀裂の進展が少ないことが分かる。一方、水素の含有量が0.04ppmを超える比較例では、繰返し数Nが $10^7$ 回を超えると、 $(\sqrt{area'}) / (\sqrt{area})$ の値  
10      が2.05超過となり、疲労亀裂の進展によるODAが大きくなっていることが分かる。

- 疲労強度は、破壊起点となる介在物（欠陥）が大きいほど低くなることから、優れた超長寿命疲労特性を実現するためには、破壊起点となる  
15      欠陥の大きさがより小さいものが望ましい。上記のように水素の含有量を0.04ppm以下とすれば、水素起因による欠陥の拡大が小さいので（疲労亀裂の進展によるODAの拡大が生じにくいので）、優れた超長寿命疲労特性を鋼材に付与することができる。

- 次に、各試験片の硬さ（炭素含有量）に着目して、超長寿命疲労特性  
20      との関連を検討した結果について説明する。

試験片の鋼材には、S U J 2（炭素含有量は0.97%）、S C M 4  
3 5（炭素含有量は0.35%）、S C R 4 2 0（炭素含有量は0.2%）、及びS C M 4 1 5（炭素含有量は0.15%）を用い、第2図に示すような形状、寸法の試験片を作製した。

- 25      試験片の熱処理は前述の場合と同様であり、Q T熱処理又はV Q熱処理を施すことにより、各種鋼材についてそれぞれ水素含有量を変えた試

験片（水素含有量は0.04, 0.08, 0.3ppm）を作製した。

各試験片の硬さHvを測定したところ、炭素含有量の多い順に硬さHvが高かった。すなわち、SUJ2製の試験片はHv720、同じくSCM435製はHv560、SCR420製はHv450、そしてSCM製415はHv400であった。

続いて、前述と同様の疲労試験を行い、繰返し数Nが $3 \times 10^7 \sim 5 \times 10^7$ 回にて破断した試験片について、破断面をSEMにより観察した。そして、前述の場合と同様に、破壊起点である非金属介在物の寸法（ $\sqrt{area}$ ）、及び非金属介在物とその周辺のODAとを合わせた部分の寸法（ $\sqrt{area'}$ ）を調べた。そして、 $(\sqrt{area'}) / (\sqrt{area})$ の値を求めた。

その結果のうち、 $(\sqrt{area'}) / (\sqrt{area})$ の値を縦軸に取り、硬さHvを横軸にとってグラフ化したものを第4図に示す。

その結果、水素含有量が0.04ppmの試験片は、いずれの鋼種においても（いずれの硬さにおいても）ODAの寸法は小さく（すなわち、 $(\sqrt{area'}) / (\sqrt{area})$ の値が小さい）、優れた超長寿命疲労特性が期待できるものであった。

しかしながら、水素含有量が0.08ppm以上の試験片は、硬さがHv400であるSCM415を除いては、 $(\sqrt{area'}) / (\sqrt{area})$ の値が2以上となり、欠陥と見なされる領域が拡大することから、優れた超長寿命疲労特性を期待することが困難であることがわかる。

高強度鋼の場合は従来より、引張り強度が高いほど水素含有量の影響を受けやすく、遅れ破壊的な疲労強度の低下を示すことが知られていた。引張り強度と硬さとは相関性があるため、該試験片の場合も硬さが高いほど水素含有量の影響を受けることが理由であると考えられる。そして、その臨界値は第4図のグラフからHv450であり、Hv450以上の

場合に、水素含有量を低減することが超長寿命疲労特性の向上に効果的であることが確認された。

硬さがHv450を下回るSCM415の場合は、水素含有量が0.04ppm超過であっても $(\sqrt{\text{area}'}) / (\sqrt{\text{area}})$ の値は大きくなく（水素含有量と $(\sqrt{\text{area}'}) / (\sqrt{\text{area}})$ の値との間に相関性が無い）、優れた超長寿命疲労特性が期待できることとなる。  
したがって、水素含有量を低減して超長寿命疲労特性を向上させるという本発明においては、鋼の硬さはHv450以上である必要がある。

Hv450以上の硬さを得るためには、鋼の炭素含有量が0.2%以上である必要があるので、本発明においては、鋼の炭素含有量は0.2%以上である必要がある。

以上説明したように、水素の含有量が0.04ppm以下で、且つ炭素の含有量が0.2%以上である鋼は、水素起因による欠陥の拡大が生じにくいので、超長寿命疲労特性が大変優れている。よって、このような鋼材は、回転や振動により $10^7$ 回を超える繰返し応力を受けて使用される場合がある機械部品に、好適に適用することができる。

また、転がり軸受を構成する外輪、内輪、転動体、及び保持器や、直動案内軸受、ボールねじ等の転動装置を構成する転動部材にも適用可能である。

20

#### 産業上の利用可能性

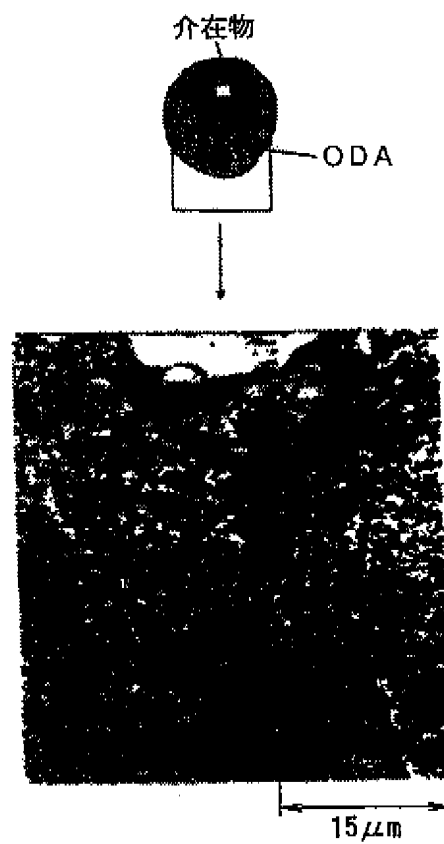
以上説明したように、本発明を応用した機械部品は、超長寿命疲労特性が大変優れているので、信頼性が非常に高い。



## 請 求 の 範 囲

1. 炭素の含有量が0.2%以上である鋼で構成され、熱処理硬化後の水素の含有量が0.04ppm以下であることを特徴とする機械部品。
- 5 2. 熱処理硬化後の硬さがHv450以上であることを特徴とする請求の範囲第1項に記載の機械部品。
3. 転がり軸受の軌道輪又は転動体として使用されることを特徴とする請求の範囲第1項又は第2項に記載の機械部品。

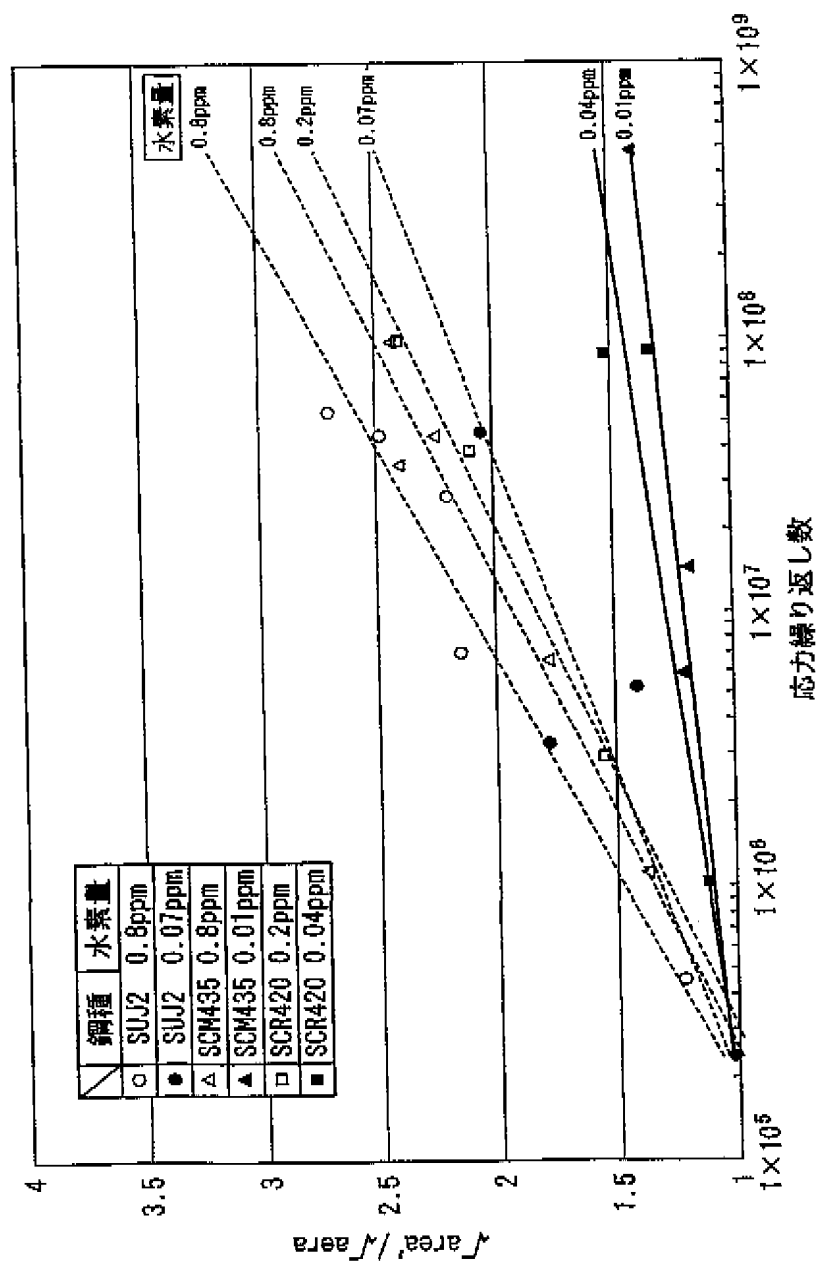
第1図



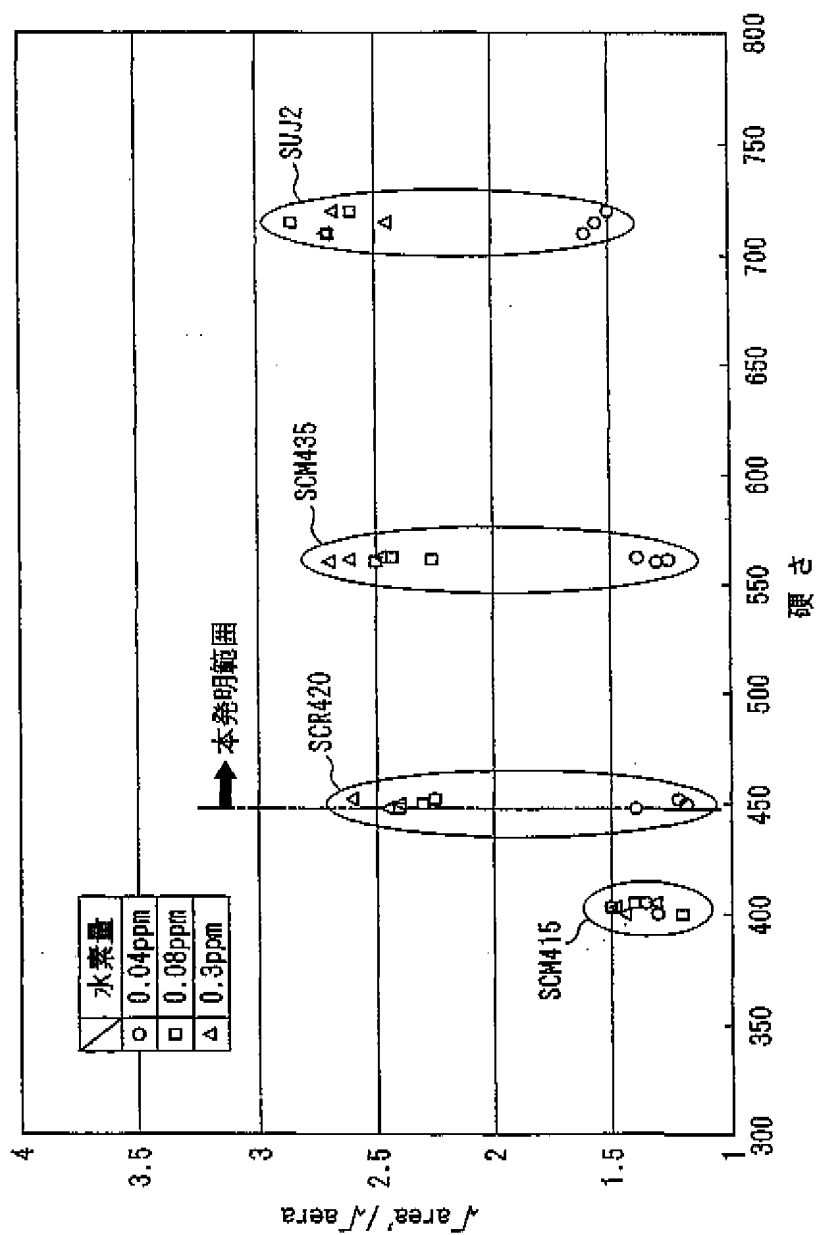
ODA (SCM435) の SEM 観察像  
 $\sigma = 560 \text{ MPa}$ ,  $N_f = 2.17 \times 10^8$



第3図



第4図



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP01/09946

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl.<sup>7</sup> C22C 38/00, 301

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl.<sup>7</sup> C22C 38/00, 301

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2002  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2002 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2002

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
JOIS

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	Takanori MURAKAMI et al., "Jikunke-kou no Chou-Choujumyou Hirou Kaifuku Hakai ni oyobosu Kaizai-butsu ni Trap sareta Suiso no Eikyou", Dai 25kai Hirou Symposium Koen Ronbunshuu, 31 October, 2000 (31.10.2000), (received at JICST), pages 223 to 226	1-3
A	JP 11-131154 A (NSK, Ltd.), 18 May, 1999 (18.05.1999), page 2 (Family: none)	1-3
A	JP 64-87746 A (Kobe Steel, Ltd.), 31 March, 1989 (31.03.1989), page 1 (Family: none)	1-3
A	JP 7-278758 A (Nippon Steel Corporation), 24 October, 1995 (24.10.1995), page 2 (Family: none)	1-3

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:  
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
"E" earlier document but published on or after the international filing date  
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
24 January, 2002 (24.01.02)

Date of mailing of the international search report  
05 February, 2002 (05.02.02)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl.<sup>7</sup> C22C 38/00 301

B. 調査を行った分野  
調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl.<sup>7</sup> C22C 38/00 301

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年  
日本国公開実用新案公報 1971-2002年  
日本国登録実用新案公報 1994-2002年  
日本国実用新案登録公報 1996-2002年

国際調査で使用了電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)  
JOIS

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	村上敬宣他、軸受鋼の超長寿命疲労破壊に及ぼす介在物にトラップされた水素の影響、第25回疲労シンポジウム講演論文集、2000.10.31 (JICSTの受入日)、P.223-226	1-3
A	JP 11-131154 A (日本精工株式会社)、1999.05.18、第2頁 (ファミリーなし)	1-3
A	JP 64-87746 A (株式会社神戸製鋼所)、1989.03.31、第1頁 (ファミリーなし)	1-3
A	JP 7-278758 A (新日本製鐵株式会社)、1995.10.24、第2頁 (ファミリーなし)	1-3

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

\* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に関する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 24.01.02

国際調査報告の発送日 05.02.02

国際調査機関の名称及びあて先  
日本国特許庁 (ISA/JP)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区蔵前三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)  
小柳 健 梧

電話番号 03-3581-1101 内線 3435



4K

8417